

ニット構造を利用した落石防護柵について（その3）

About the falling rock protection fence which used knitting structure(Part.3)

三田村 文寛・村上 哲彦^{*1}・金谷 俊昭^{*2}・豊岡 克己^{*3}

要 旨

繊維の長所を活用して、既存のワイヤーロープと金網をニット構造で一体化した横梁部材に換えた落石防護柵の開発に取り組んだ。前年度までに強度、性状等から横梁の横部材に全芳香族ポリエステル、縦部材に高強度ポリエステルを選択した。引張試験の結果により目標強度を満足し、3 kNの落石が20.0mの高さから45度の斜面を転がるときに発生する落石エネルギーの吸収は可能なことが分かった。また、耐候性については黒原着の塩化ビニールの被覆により耐候劣化に対応できることが分かった。今年度は前年度に引続き、端末部分に繊維部材を取付け引張試験を行った結果、繊維の引張強度に対し約90%の強度を得ることができ、端末部の構造について完成することができた。実施設計により前述の落石エネルギー吸収の検討を行ったが、可能なことが確認できた。

キーワード：ニット構造、繊維製落石防護柵、繊維部材の端部取付

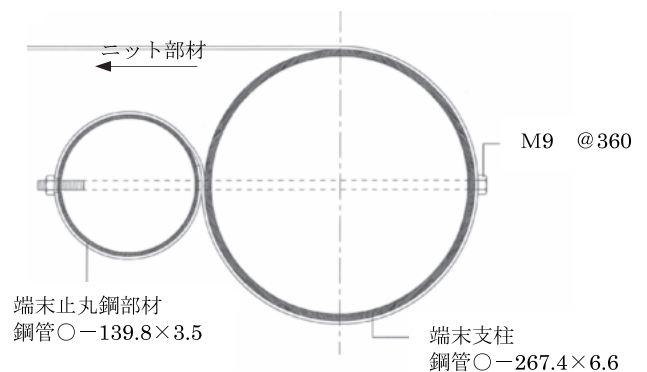
1. はじめに

本研究は、繊維の長所を活用して既存の落石防護柵のワイヤーロープと金網をニット構造で一体化した横梁部材に換え、施工性が良く補修頻度の少ない落石防護柵の開発に取り組んだ。前年度までに横梁部材の選定を行った。縦部材は強度、性状及び経済性から産業用資材として一般的に用いられている高強度ポリエステルを採用し、横部材については必要強度を検討した結果、汎用性のある合成繊維の強度を超えたため高機能繊維の中から性状が耐熱性や乾湿の物性差等屋外使用に適しており、炭素繊維系より伸度が大きい全芳香族ポリエステルを選定した。以上の部材により引張試験を行った結果、目標強度を満足し、3 kNの落石が20.0 mの高さから45度の斜面を転がるときに発生する落石エネルギーの吸収は可能なことが分かった。また、耐候性については黒原着の塩化ビニールの被覆により耐候劣化に対応できた。端末部の構造については、端末部分に繊維部材を取付け、引張試験を行ったが端末部材が破損し繊維部材が破断するまで計測することができなかった。今年度は引続き、端末部分へ横梁部材の取付け引張試験を行い、全体設計を行った。また、これに基づき、落石エネルギーの吸収の検討を再度おこなったのでその結果を報告する。

2. 端末部の構造

2. 1 概 要

端末部の構造は図－1 に一例を示すが、ニット部材が図の矢印方向に引張られると端末止丸鋼部材がひずみ、当部材及び端末支柱とニット部材との摩擦力が大きくなり、繊維部材にせん断力をかけることなく端末部に固定する構造である。



図－1 端末部の構造図(一例)

2. 2 端末部分の引張試験

前年度は端末部材の結合部が偏芯して繊維部材が破断するまで計測することができなかった。そこで今回は、連結ボルトを太くし、平板（FB）により補強を行った。（図－2 参照。）

*1 福井県工業技術センター

*2 有限会社ハルテック

*3 豊岡建工株式会社

引張試験は写真－2の金属材料用万能材料試験機で行った。試料は6ストランド用いた。部材の破断強度は168.3kN（28.05kN×6）である。試験条件は次のとおりである。

試料：樹脂加工経編部材を図－2のジグに巻き付けたもの。

試料数3

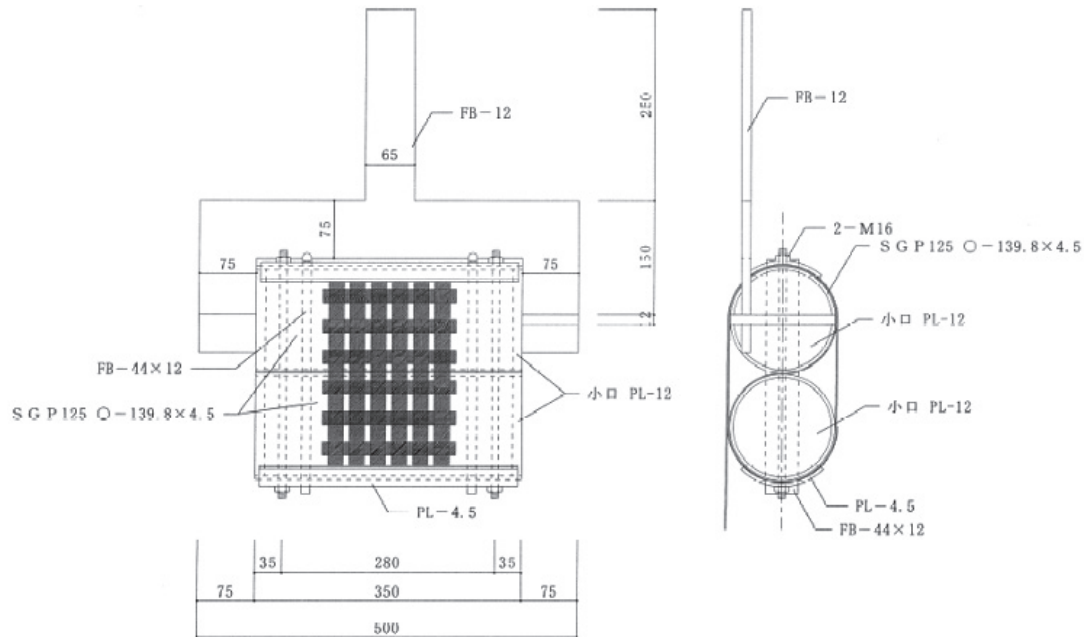
寸法：長さ600mm、幅20mm×6ストランド、厚さ2.0mm
チャックFB-12

試験機：(株)島津製作所万能試験機UH-1000KNC

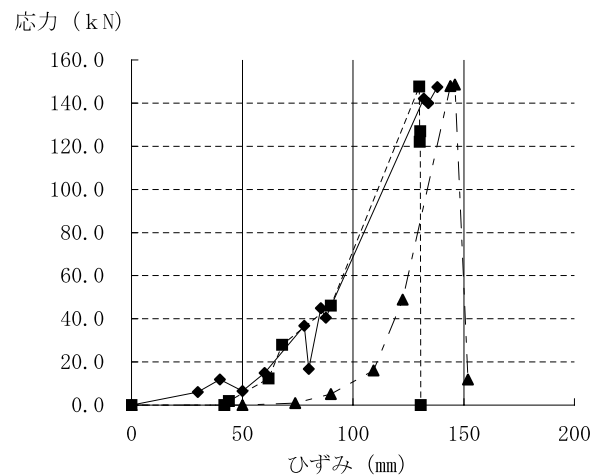
方法：試験速度50mm/分

今回は端末部材の結合部が偏芯することなく繊維部材が破断するまで計測することができた。

結果を図－3、表－1に示す。



図－2 ジグ正面、側面図



図－3 端末部分の引張試験結果(ニット横部材応力－ひずみ曲線)

表－1 端末部分の引張試験結果

試料	引張強度(kN)
1	147.5
2	147.7
3	148.5
平均	147.9

端末部分の引張強度は平均147.9kNを計測した。ニット部材の引張強度が168.3kNであり繊維部材の87.9%の強度を確保することができた。

3. 実施設計

今までの検討結果を踏まえて、図-4～5の通り実施設計を行った。

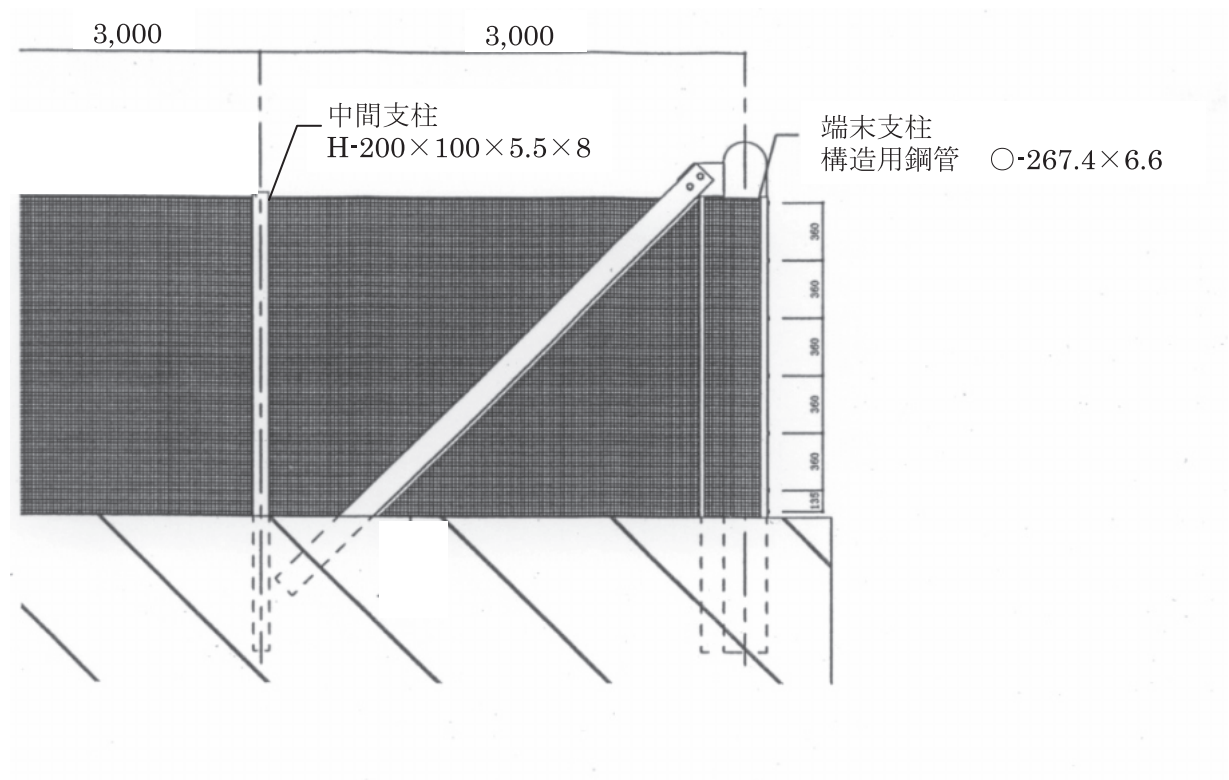
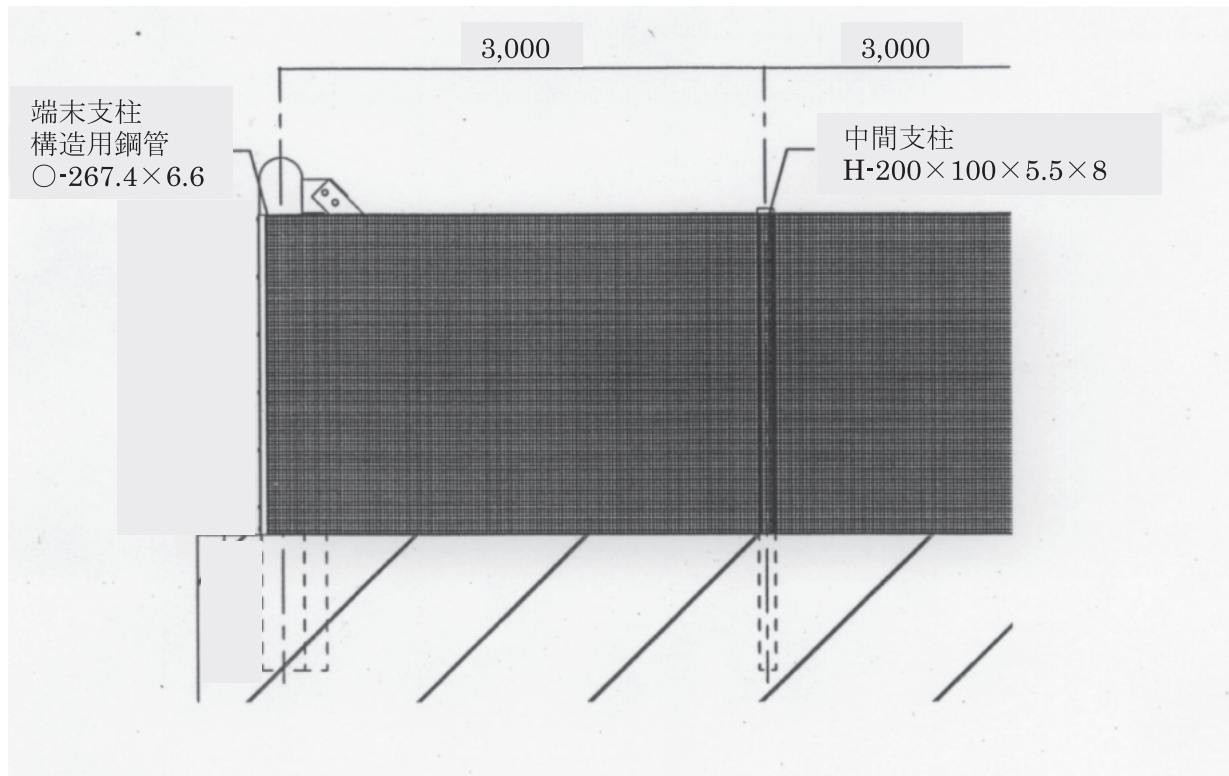


図-4 一般図

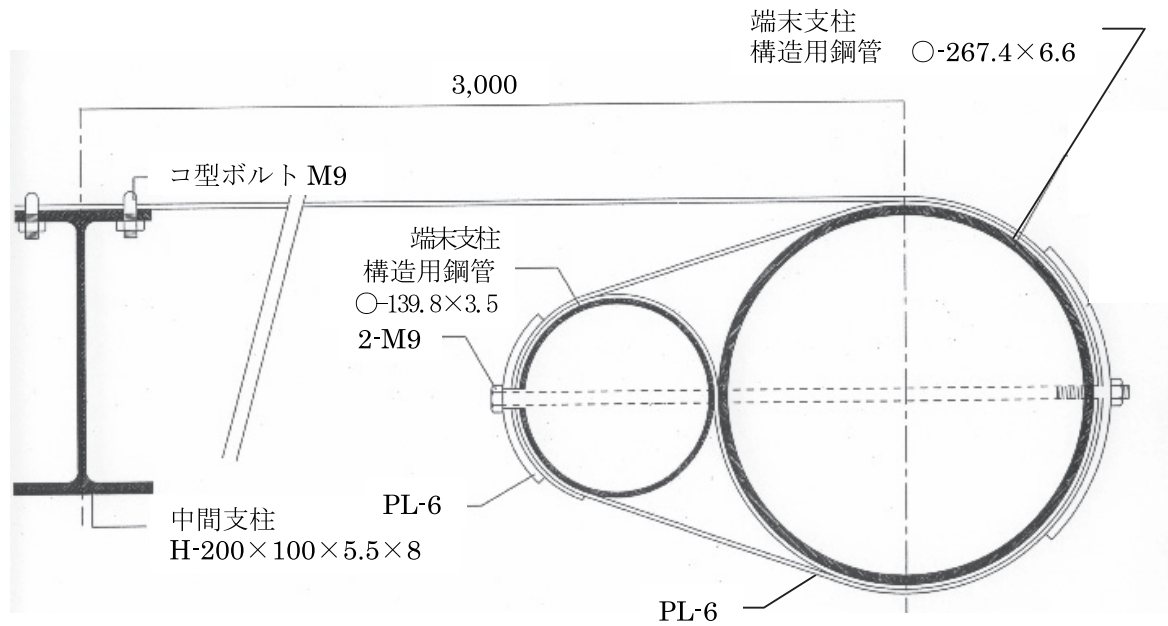


図-5 端部詳細図

4. 構造計算

ここまでの結果を用いて、前々回行った標準的に設定した落石条件、柵高、支柱間隔および鋼部材の形状や強度等の条件で想定される落石の運動エネルギーを吸収し得るか否か検討を今回の端末部分の構造を踏まえて再度行った。

ニット構造を利用した落石防護柵の構造計算¹⁾

(1) 落石条件

- | | |
|-----------|----------------------------|
| 1) 落石重量 | $W = 3.0 \text{ kN}$ |
| 2) 落石高さ | $H = 20.0 \text{ m}$ |
| 3) 斜面勾配 | $\theta = 0.785\text{rad}$ |
| 4) 等価摩擦係数 | $\mu = 0.35$ |

(2) 落石防護柵仕様

- | | |
|---------|--------------------------|
| 1) 柵高 | $H = 2.0 \text{ m}$ |
| 2) 支柱間隔 | $\alpha = 3.0 \text{ m}$ |

3) ニット構造横梁

破断荷重 $T_b = 369.3 \text{ kN/0.5m}$ (21.1 kN/箇所)

ニットの強度 1 箇所当たり 26.4 kN、端末部分の強度保持率 0.8 として

1 箇所当たり $26.4\text{kN} \times 0.8 \div 21.1\text{kN}$

降伏荷重 $T_y = 369.3 \text{ kN/0.5m}$

4) 中間支柱：H-200×100×5.5×8

断面係数 $Z = 181000 \text{ mm}^3$

断面二次モーメント $I = 18400000 \text{ mm}^4$

弾性係数 $E_H = 200000 \text{ N/mm}^2$

降伏応力度 $\delta = 235 \text{ N/mm}^2$

(3) 落石の運動エネルギー

落石の運動エネルギー (E) は次式により計算する。

$$E = (1 + \beta)(1 - \mu / \tan \theta) W \times H$$

ただし、 $(1 + \beta)(1 - \mu / \tan \theta) \leq 1.0$

ここで、 β : 回転エネルギー係数 $\beta = 0.1$ として良い。

$$(1 + \beta)(1 - \mu / \tan \theta) = 0.715 \leq 1.0$$

$$E = 42.90 \text{ kJ}$$

(4) 落石防護柵の可能吸収エネルギー

落石防護柵の可能吸収エネルギー (E_r) は次式により計算する。

$$E_r = E_s + E_p$$

ここに、 E_s : ニット構造横梁の吸収エネルギー (kJ)

E_p : 支柱の吸収エネルギー (kJ)

- 1) ニット構造横梁の降伏張力 T_y が作用したときの支柱への反力を次式より求める。

この場合 0.5m 幅のニット製横梁が一体となって働くものとする。

$$R = T_y \cdot \sin \theta_1 = 115.67 \text{ kN}$$

θ_1 は次式により計算する。

$$\theta_1 = \arccos\{a/a \cdot (1 + L)\} = 18.26^\circ$$

ここに、 a : 支柱間隔 (mm)、 L : 伸度

- 2) 支柱の下端が塑性ヒンジを形成するのに要する力 F_y を次式により求める。

$$F_y = M_0/h_2 = \delta y Z/h_2 = 31,901 \text{ N} = 31.90 \text{ kN}$$

ここに、 M_0 : 塑性モーメント (N/mm)

h_2 : 作用点までの高さ (mm) = 1.33m

δy : H鋼の降伏点応力度 (SS400で 235N/mm²)

Z : H鋼の断面係数 (mm³)

- 3) 前述で算出した R と F_y を比較し、 $R \geq F_y$ であることから

①支柱 (2 本分) の吸収エネルギー (E_p)

$$E_p = 2 F_y \cdot \delta = 2 F_y \cdot h_2 \tan 15^\circ = 22.79 \text{ kJ}$$

②ニット構造横梁部材の吸収エネルギー (E_s)

$$E_s = (T_y - T_0) \times L/2 = 22.79 \text{ kJ}$$

$$E_r = E_p + E_s = 51.75 \text{ kJ} > 42.90 \text{ kJ}$$

ニット構造横梁の初期緊張力 T_0 を 5.0 kN とし、その分の伸度 L_0 0.1% を割り引いた。

$$\text{伸度 } L = L_0 \times (T_y - T_0) / T_y = 5.3 \%$$

以上、落石防護柵の吸収エネルギーは落石の運動エネルギーを吸収し得る。

5. まとめ

- 1) 本端末部の構造による端末部分の引張強度は繊維部材の 87.9% に達し、端部構造として実用化の目処が立った。
- 2) 実施設計により構造計算を行った結果、本落石防護柵の吸収エネルギーは対象とする落石条件にお

いて落石の運動エネルギーを吸収し得る。

6. 今後の課題

- 1) 試験施工を行い、落石の衝撃に対して追跡調査を行い、評価する必要がある。
- 2) 経済性の検討を行った結果、柵高 2.0m において

表－3 のとおりとなった。

表－3 ネット設置経済比較(1 m 当り)

(単位:円)

	ニット製	金網およびケーブル
材料費	8,350	4,390
設置費	2,050	4,110
合 計	10,400	8,500

ニット製の網の材料費が高いため、約2割高くなる。材料である全芳香族ポリエステル繊維が非常に高価なことが原因となっている。そこで現在コストが半分以下になるポリエステル繊維に変更して引張強度、吸収エネルギーの検討を行う必要がある。

謝辞

本研究に当たり、工業技術センターの嶋田研究員、牧野研究員に助言と多大な協力をいただいたことを記し謝辞とする。

参考文献

- 1) 三田村文寛、村上哲彦、金谷俊昭、ニット構造を利用した落石防護柵について(その1)
福井県雪対策・建設技術研究所年報第19号
pp106－pp109
- 2) 三田村文寛、村上哲彦、金谷俊昭、ニット構造を利用した落石防護柵について(その2) 福井県雪対策・建設技術研究所年報第20号
pp120－pp123